Control con Lógica Difusa

Control Difuso

Dr. Fernando Ornelas Tellez

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Facultad de Ingeniería Eléctrica

Morelia, Michoacan

Bibliografía

1. D. Driankov et al. An introduction to Fuzzy Control (2nd Ed.), Springer, 1996.
2. G. Chen. Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy Control Systems, CRC Press
3. K. Tanaka et al. Fuzzy Control Systems Design and Analysis, John Willey and Sons.
4. Fuzzy Controllers, Leonid Reznik, Newnes, 1997.

Contenido

Tipos de FIS

En este curso se utilizarán dos tipos de modelado de FIS, los cuales han sido ampliamente usados en varias aplicaciones, mismos que consisten en reglas lingüísticas: modelos difusos de Mamdani (no requieren de modelos matemáticos) y modelos Takagi-Sugeno (requieren de modelos matemáticos).

Los dos FIS difieren en los consecuencias (conclusiones) de sus reglas difusas, y así sus procedimientos de agregación y defusificación.

Outline

Modelos difusos tipo Mamdani

Los modelos difusos de Mamdani[1] no requieren de modelos matemáticos del sistema a controlar y son obtenidos a partir de reglas difusas of enunciados condicionales difusos, por ejemplo:

- IF error de presión es negativo grande, THEN cambio de calor es positivo grande.

Por error se hace referencia a la diferencia entre valor real de la variable y el punto de referencia (*set point*).

En general, las reglas del tipo Mamdani son de la forma:

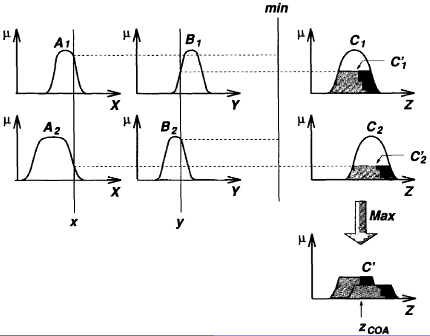
$$R_i: \text{ IF } x \text{ is } A_i,\ x \text{ is } A_i, \ldots,\ x \text{ is } A_i \qquad \text{THEN } y \text{ is } B_i.$$

[1] Mamdani, E. and Assilian, S. (1975), An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. Int. J. Man Mach. Stud., 7, 1–13.

Modelos difusos tipo Mamdani

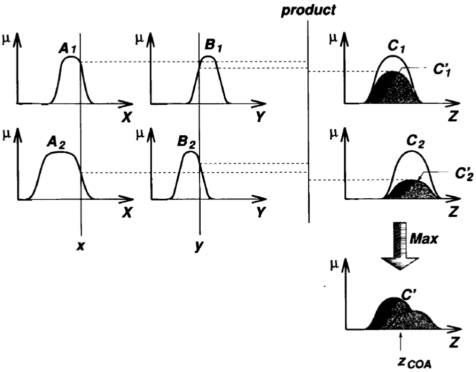
En el modelado de Mamdani, en general se utilizan dos métodos de inferencia: min-max y product-max.

La sig. fig. muestra una interpretación gráfica de un método de inferencia para dos entradas y dos reglas (método Min-Max).



Modelos difusos tipo Mamdani

La sig. fig. muestra una interpretación gráfica de un método de inferencia para dos entradas y dos reglas (método Product-Max).



Modelos difusos tipo Mamdani

El método de Mamdani tiene muchas variaciones. Se pueden utilizar diferentes T-normas (Min, Producto, etc.) para conectar antecedentes, diferentes operadores para la agregación y numerosos métodos para la defusificación.

Outline

Diseño de controladores difusos tipo P, PD, PI, PID

Para el diseño de los controladores, es importante la definición correcta de las variables a controlar.

Las variables del sistema serán utilizadas por los antecedentes de las reglas difusas (parte IF) son en general error, sus cambios e historia.

- Denote el error como e
- Denote el cambio de error como Δe ó $\dot{e}$
- Denote la suma de errores como δe.

Diseño de controladores difusos tipo P, PD, PI, PID

La entrada de control representará el contenido del consecuente (parte THEN), mismo que se selecciona de:

- Entrada de control, denotada por u
- Cambio de control, denotado por Δu ó $\dot{u}$.

Considere además las siguientes definiciones (análogas a control continuo):

- $e(k) = y_{sp} - y(k)$, donde y_{sp} es el valor de referencia (SET POINT) para y.
- $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$.
- $\Delta u(k) = u(k) - u(k-1)$.

Note que se está considerando una implementación discreta.

Diseño de un controlador P-difuso

Entonces, el controlador P-difuso puede plantearse con la regla:

$$\mathit{IF}\ e(k)\ \mathit{es}\ \langle \textit{símbolo} \rangle,\ \mathit{THEN}\ u(k)\ \mathit{es}\ \langle \textit{símbolo} \rangle$$

donde ⟨*símbolo*⟩ es el nombre simbólico del valor de la variable lingüística.

⟨*símbolo*⟩ puede ser: negativo grande (NG), negativo mediano (NM), Cero (Z), positivo mediano (PM), positivo grande (PG), etc.

Diseño de un controlador PD-difuso

A partir del controlador continuo

$$u = K_P\, e + K_D\, \dot{e}$$

donde K_P y K_D son las ganancias proporcional y derivativa, respectivamente.

Entonces, el controlador PD-difuso puede plantearse de reglas del tipo:

$$\textit{IF } e(k) \textit{ es } \langle símbolo \rangle \textit{ y } \Delta e(k) \textit{ es } \langle símbolo \rangle,$$

$$\textit{THEN } u(k) \textit{ es } \langle símbolo \rangle$$

donde $\langle símbolo \rangle$ es el nombre simbólico del valor de la variable lingüística.

Diseño de un controlador PD-difuso

El lenguaje natural equivalente a la regla anterior sería:

Para cada instante k

IF el valor del error tiene la propiedad de ser ⟨valor lingüístico⟩ *y el valor del cambio del error tiene la propiedad de ser* ⟨valor lingüístico⟩, *THEN el valor de la salida del control tiene la propiedad de ser* ⟨valor lingüístico⟩.

Diseño de un controlador PI-difuso

A partir del controlador continuo

$$u = K_P\, e + K_I \int e\, dt$$

donde K_P y K_D son las ganancias proporcional e integral, respectivamente. Este controlador se puede también representar como

$$\dot{u} = K_P\, \dot{e} + K_I\, e$$

Entonces, el controlador PI-difuso puede plantearse de reglas del tipo:

$$\mathit{IF}\ e(k)\ \mathit{es}\ \langle s\acute{\imath}mbolo\rangle\ \mathit{y}\ \Delta e(k)\ \mathit{es}\ \langle s\acute{\imath}mbolo\rangle,$$

$$\mathit{THEN}\ \Delta u(k)\ \mathit{es}\ \langle s\acute{\imath}mbolo\rangle$$

donde $\langle s\acute{\imath}mbolo\rangle$ es el nombre simbólico del valor de la variable lingüística.

Diseño de un controlador PI-difuso

Notar que en el PI difuso, para obtener $u(k)$, este debe ser obtenido del cambio $\Delta u(k)$, por lo que

$$u(k) = \Delta u + u(k-1).$$

Lo anterior no se refleja en las regla difusa anterior.

Diseño de un controlador PID-difuso

A partir del controlador continuo

$$u = K_P\, e + K_I \int e\, dt + K_D\, \dot{e}$$

el controlador PID-difuso se puede construir al considerar el PD-difuso + la suma del error, calculado como

$$\delta e(k) = \sum_{i=1}^{k-1} e(i).$$

con reglas del tipo

IF e *es* $\langle$*símbolo*$\rangle$ *y* Δe *es* $\langle$*símbolo*$\rangle$ *y* δe *es* $\langle$*símbolo*$\rangle$,

THEN $\Delta u(k)$ *es* $\langle$*símbolo*$\rangle$.

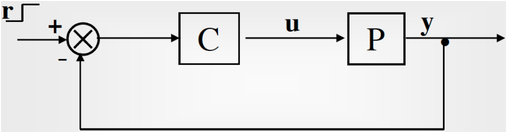
Diseño de un controlador PI-difuso

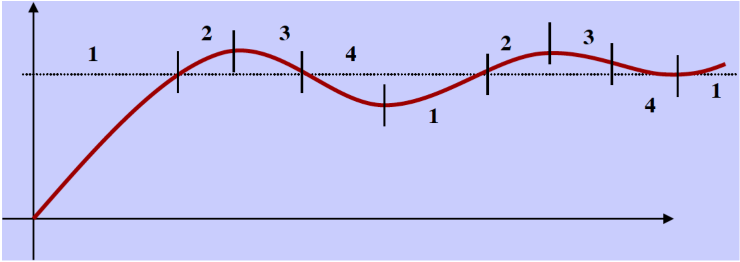
Las reglas resultantes de algunos controladores difusos se pueden escribir de forma tabular. Por ejemplo, para el PI-difuso:

e \ Δe	**NB**	**NM**	**NS**	**ZO**	**PS**	**PM**	**PB**
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZO	PS
NS	NB	NB	NM	NS	ZO	PS	PM
ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB
PM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB

Controlador difuso mínimo

A partir del esquema

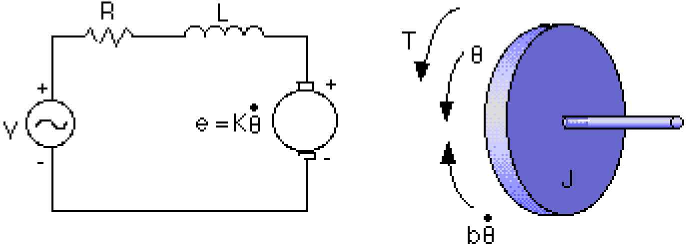




Controlador difuso mínimo

- Este controlador busca implementar el mínimo número de reglas.
- No requiere del conocimiento de la planta, por tanto es un controlador robusto
- Se basa en el conocimiento del error y el cambio del error.
- Es un controlador con reglas intuitivas.
- El controlador resultante es sencillo y computacionalmente eficiente y de buen desempeño

Aplicación a un motor de corriente continua



Con $J = 0.01$, $b = 0.1$, $K = 0.01$, $R = 1$, $L = 0.5$. Para su simulación, discretizar por Euler.

Intro

Outline

Outline

1. Control Difuso: Modelos Difusos
   - Modelos Difuso: Mamdani
   - Diseño de Controladores Difusos tipo Mamdani
   - Sistemas de Desarrollo, Usos
   - Simulación de Sistemas Difusos
   - Implementación de Sistemas Difusos

Outline

[allowframebreaks]Para mayor información

- D. Driankov et al.
  An introduction to Fuzzy Control (2nd Ed.)
  Springer, 1996
- G. Chen
  Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy Control Systems
  CRC Press.
- K. Tanaka et al.
  Fuzzy Control Systems Design and Analysis
  John Willey and Sons
- Fuzzy Logic Toolbox
  Users Guide
  The Math Works